



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Tidsserier af målt nedbør for analyse af forsinkelsesbassiners funktion

Larsen, Torben

Publication date:
1982

Document Version
Accepteret manuscript, peer-review version

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Larsen, T. (1982). *Tidsserier af målt nedbør for analyse af forsinkelsesbassiners funktion*. Aalborg Universitetscenter, Inst. for Vand, Jord og Miljøteknik, Laboratoriet for Hydraulik og Havnebygning.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

+
1980 - 1982
Både 1982 - 1984

Torben Larsen

TIDSSERIER AF MÅLT NEDBØR FOR
ANALYSE AF FORSINKELSESBASSINERS
FUNKTION

August 1982

AALBORG UNIVERSITETSCENTER
LABORATORIET FOR HYDRAULIK OG HAVNEBYGNING
SOHNGARDSHOLMSVEJ 57 DK-9000 AALBORG DANMARK

AALBORG UNIVERSITETSCENTER

INSTITUTTET FOR VAND, JORD OG MILJØTEKNIK

Sohngårdsholmsvej 57 DK-9000 Aalborg Danmark tlf.(08)142333

LABORATORIET FOR HYDRAULIK OG HAVNEBYGNING

Torben Larsen

TIDSSERIER AF MÅLT NEDBØR FOR
ANALYSE AF FORSINKELSESBASSINERS
FUNKTION

August 1982

INDHOLDSFORTEGNELSE

1. Indledning	side	1
2. Introduktion	side	2
3. Gentoftetidsserien af målt nedbør	side	3
4. Forenklet afstrømningsmodel	side	4
4.1 Numerisk momentan enhedshydrograf	side	5
4.2 Lineære reservoirer	side	6
4.3 ARMA-transformationen	side	7
5. Model af forsinkelsesbassin med overløb	side	9
6. Input og output til modellen	side	11
6.1 Input	side	11
6.2 Output	side	11
7. Diskussion af metodens begrænsning og videre perspektiv	side	13
8. Litteratur	side	14

BILAG

Beregningseksempel

Bilag nr. 1

1. INDLEDNING

Dette er en beskrivelse af, hvorledes man med udgangspunkt i en 40-årig tidsserie af målt nedbør kan analysere den hydrauliske funktion af forsinkelsesbassiner i afløbssystemer. Da metoden således i princippet ikke på forhånd foretager nogen udvælgelse af særlige nedbørssituationer, kan beregningerne kun foretages ved EDB.

Metoden tager udgangspunkt i nogle tanker om, hvorledes man kan fortolke målinger af nedbør og afstrømning i et afløbssystem, som beskrevet i en tidligere rapport, Larsen (1978).

Den anvendte tidsserie af målt nedbør er den såkaldte "Gentofteregn" som velvilligt er stillet til rådighed af SPILDEVANDSKOMITEEN under Dansk Ingeniørforening. I forbindelse med de teoretiske overvejelser om den mest hensigtsmæssige model til beskrivelse af sammenhængen mellem nedbør og afstrømning i urbane områder, har akademiingeniør Peter Grimstrup gennem sit afgangsprøjsprojekt i 1980 ydet et betydningsfuldt bidrag. Programmeringen af metoden på AUC's Datacenter har civilingeniør Jens Nørgaard Nielsen forestået.

2. INTRODUKTION

Der har gennem de sidste tyve år foregået en intens udvikling af EDB-modeller til simulering af regnafstrømning i urbane områder. Man er nu nået så vidt, at det for oplande af begrænset størrelse er muligt at simulere det komplekse strømningsforløb i rør, brønde, bygværker m.v. under hensyntagen til samtlige led i de styrende hydrodynamiske grundligninger. Der er næppe tvivl om, at inden for de næste årtier vil sådanne modeller også gradvist blive anvendt i den almindelige ingeniørmæssige analyse og dimensionering af afløbssystemer.

Det har hidtil været almindelig praksis at dimensionere de forskellige elementer i afløbssystemer ud fra en maksimal vandføring svarende til en given gentagelsesperiode, f.eks. 1 eller 2 år. Når det imidlertid drejer sig om forsinkelsesbassiner er dimensioneringskriterierne forskellige fra situation til situation på grund af de varierende recipientforhold. Tager man f.eks. aflastningen til en sø vil det formentlig være aflastningens totale volumen og dennes hyppighed, som er af størst interesse. I andre tilfælde vil man måske blot fokusere på det årlige antal aflastninger.

Anvendelse af historiske nedbørsobservationer som udgangspunkt for bestemmelse af afstrømningsforløbet i urbane og urale områder har været kendt i en årrække. Til praktisk brug vil det imidlertid idag i Danmark ikke være økonomisk rimeligt at anvende de avancerede afstrømningsmodeller sammen med den historiske nedbør. Man har derfor i denne forbindelse anvendt forsimplede modeller til beskrivelse af afstrømningsforløbet i oplandet.

3. GENTOFTE TIDSSERIEN AF MÅLT NEDBØR

Man har til denne model anvendt en tidsserie af målt nedbør fra Gentofte fra perioden 1933-1962. Nærmere detaljer om disse data er beskrevet af Johansen (1978). Tidsserien omfatter alle nedbørshændelse større end ca. 3 mm i sommerperioden maj til oktober, begge måneder incl. Endvidere indeholder tidsserien oplysning om eventuel forregn mindre end 3 mm. Serien består af 1113 regnhændelser.

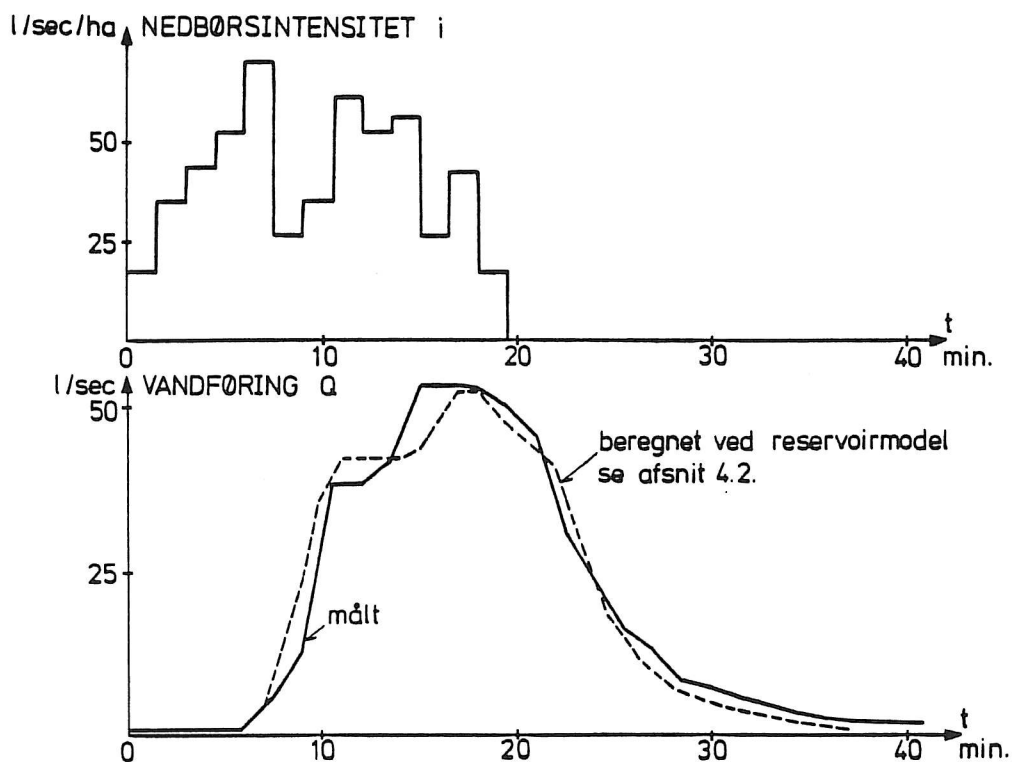
Da Gentofteregnen kun indeholder de kraftigere regnskyl, er disse data velegnet til dimensionering af forsinkelsesbassiner. Til analyse af overløbsbygværker uden tilhørende bassin må man imidlertid være klar over, at i en del tilfælde vil regnskyl på mindre end 3 mm også give overløb. Anvendelse af serien til sådanne analyser må derfor foretages med omtanke.

4. FORENKLET AFSTRØMNINGSMODEL

Erfaringer fra målinger af sammenhængen mellem nedbør og afstrømning for urbane områder har vist, at for det konkrete opland kan afstrømningsprocessen beskrives af enkle lineære modeller. Som det fremgår af nedenstående figur nr. 4-1 er afstrømningsprocessen karakteriseret ved 3 elementer.

1. Initialtab, dvs. befugtnings- og lavningstab
2. Forsinkelse
3. Udglatning

I det følgende skal gives 3 alternative muligheder for numeriske modeller for afstrømningsprocessen. Ved disse modeller har man dog indledningsvis først fjernet et specificeret initialtab fra starten af hvert regnskyl i serien, hvilket er en forudsætning for at systemerne er tilfredsstillende lineære.



Nedbør og vandføring under en tordenbyge den 11.8.78

fig. 4-1 Eksempel på måling af nedbør/afstrømningsforløb på et opland ved Riihimäkievej, Aalborg. Reduceret areal ca. 1,4 ha.

Modellen kan endvidere reducere hyetograften ved fratrækning af en konstant infiltration.

4.1 Numerisk momentan enhedshydrograf

Den momentane enhedshydrograf er et begreb som er velkendt fra hydrografanalysen, se f.eks. Chow (1964). Fra reguleringsteknikken kendes det tilsvarende begreb, impulsresponsfunktionen. For et konkret opland kan den momentane enhedshydrograf forstås som det afstrømningsforløb, som funktion af tiden, man får efter et kortvarigt regnskyl med volumenet 1.

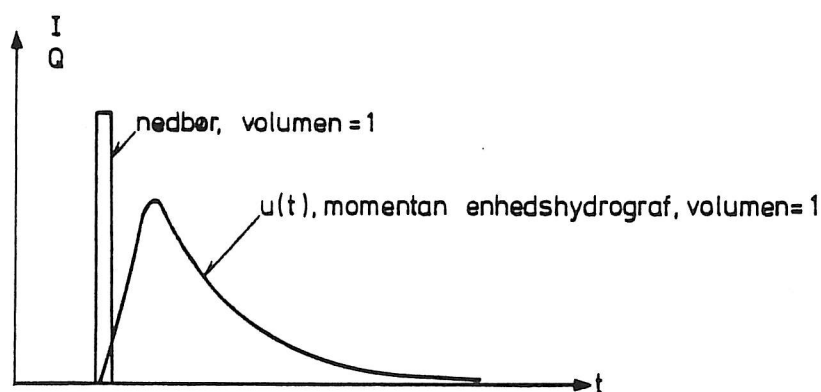


fig. 4.1-1

Kender man den momentane enhedshydrograf $u(t)$ kan man ved anvendelse af foldningsintegralet

$$Q(t) = \int_0^t u(t - \tau) I(\tau) d\tau \quad (4-1)$$

bestemme afstrømningsforløbet $Q(t)$ for regnforløbet $I(t)$.

Den momentane enhedshydrograf for et opland kan bestemmes, såfremt man kender en hyetograf og den tilhørende hydrograf. Disse kan enten være bestemt ud fra måling af nedbør/afstrømningsforløbet i oplandet eller ved en beregning med en avanceret hydraulisk/hydrologisk analysemodel af typen Illudas, Niva, Nemo el.lign. Selve teknikken ved beregning af den momentane enhedshydrograf kan være anvendelse af de såkaldte Wiener-Hopf ligninger eller ved anvendelse af Fourier-transformation. Disse metoder er velkendte i hydrologien og i reguleringsteknikken, se f.eks. Yevjevich (1972).

Der er i litteraturen givet et stort antal eksempler på empiriske momentane enhedshydrografer for urbane områder. Ved disse kan man med udgangs-

punkt i oplandets karakteristika, som f.eks. areal, gennemsnitsfald, koncentrationstid, fastlægge den momentane enhedshydrograf for området. Disse skønnes at være særdeles velegnede ved bassindimensionering, fordi det ikke er kritisk for denne beregning, hvis hydrografen kun er omtrentlig fastlagt. For nærmere detaljer henvises f.eks. til Yen og Chow (1980) samt Harms (1981).

Alternativt til den momentane enhedshydrograf (impulsresponsfunktionen) kan man i stedet anvende den velkendte S-kurve (stepresponsfunktionen). Imidlertid er der fra et principielt synspunkt ingen forskel herimellem; ligesom der heller ikke er beregningsmæssige fordele om man vælger den momentane enhedshydrograf eller S-kurven.

4.2 Lineære reservoirer

At transformere en hyetograf gennem lineære reservoirer, for derved at få en forsinket og udglattet hydrograf, er en velkendt og klassisk metode inden for hydrologien, som f.eks. er beskrevet af Chow (1964).

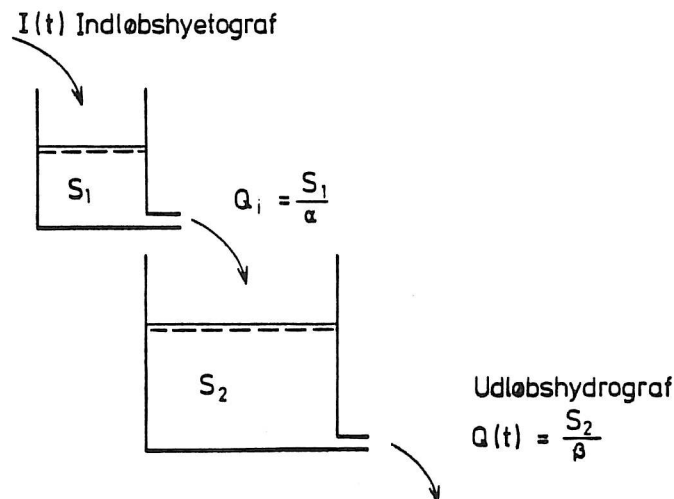


fig. 4.2-1 To lineære reservoirer

Man kan vise, at dette system beskrives af følgende differentiaalligning

$$\alpha\beta \frac{d^2Q}{dt^2} + (\alpha + \beta) \frac{dQ}{dt} + Q = I \quad (4.2-1)$$

Hvis denne ligning ønskes løst numerisk, må den omskrives ved indførelse af differenskvotienter for differentialkvotienterne

$$\frac{d^2Q}{dt^2} \approx \frac{Q_{i+1} - 2Q_i + Q_{i-1}}{\Delta t^2} ; \quad \frac{dQ}{dt} \approx \frac{Q_{i+1} - Q_{i-1}}{2\Delta t}$$

herved kan ligning (4.2-1) skrives

$$Q_{i+1} = a Q_i + b Q_{i-1} + c I_{i+1}$$

hvor

$$a = \frac{\frac{2\alpha\beta}{\Delta t^2} - 1}{N}$$

$$b = \frac{\frac{\alpha + \beta}{2\Delta t} - \frac{\alpha\beta}{\Delta t^2}}{N}$$

$$N = \frac{\alpha\beta}{\Delta t^2} + \frac{\alpha + \beta}{2\Delta t}$$

$$c = \frac{1}{N}$$

Det kan vises, at $(\alpha + \beta)$ er systemets forsinkelse og erfaringer fra tilpasning af denne model til urbane afstrømningsforløb viser, at forholdet mellem a og b skal vælges til ca. $\frac{\alpha}{\beta} = 0,4$.

På nedenstående figur 4.2-1 er vist, hvorledes denne model har været i stand til at simulere et målt nedbør/afstrømningsforløb.

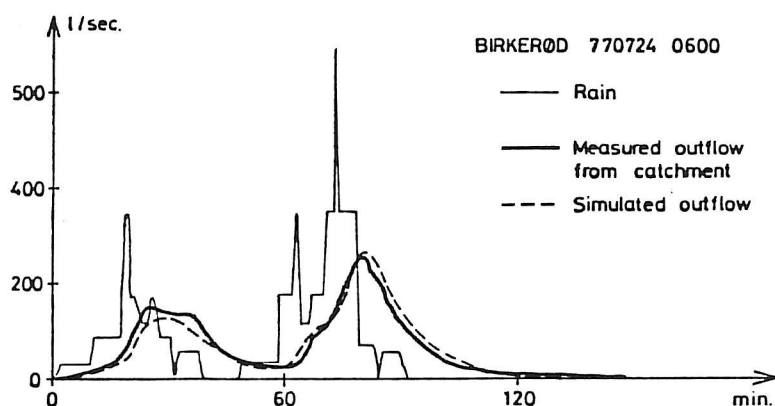


fig. 4.2-2 Eksempel på validering af model

Denne model bestående af to lineære reservoirer er særdeles hensigtsmæssig og hurtig ved numeriske beregninger. Den vil skønsmæssig være ca. 10 gange hurtigere end den først omtalte metode med den momentane enhedshydrograf eller S-kurven.

4.3 ARMA-transformationen

Det sidste årti har medført en kraftig udvikling i metoderne for transformation af tidsserier, se f.eks. Box og Jenkins (1976). Den såkaldte ARMA-transformation, som kan betragtes som en videreudvikling af de tidligere nævnte lineære reservoirer, giver teoretisk set mulighed for at skabe en momentan enhedshydrograf af vilkårlig form. (ARMA er iøvrigt en forkortelse af "autoregressive moving average".)

ARMA processen er følgende

$$Q_i = a_1 Q_{i-1} + a_2 Q_{i-2} \dots a_p Q_{i-p} + I_i \\ - b_1 I_{i-1} - b_2 I_{i-2} \dots - b_q I_{i-q}$$

Processens parametre estimeres således, at man opnår den bedste tilpasning mellem målt og beregnet output. Metoden har været undersøgt i forhold til andre hydrografmetoder af Grimstrup (1980). Metodens praktiske anvendelse ved analyse af forsinkelsesbassiner med udgangspunkt i målte serier af regn er beskrevet af Larsen (1981).

5. MODEL AF FORSINKELSESBASSIN MED OVERLØB

Beregningen af strømningsforløbet og magasineringen i forsinkelsesbassinet foretages ud fra de hydrauliske ligninger som beskriver systemet. Man har valgt et princip som vist i nedenstående figur 5-1, men andre systemer kan simpelt inprogrammeres i hvert enkelt tilfælde.

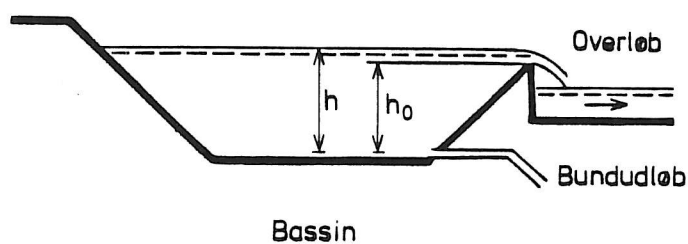
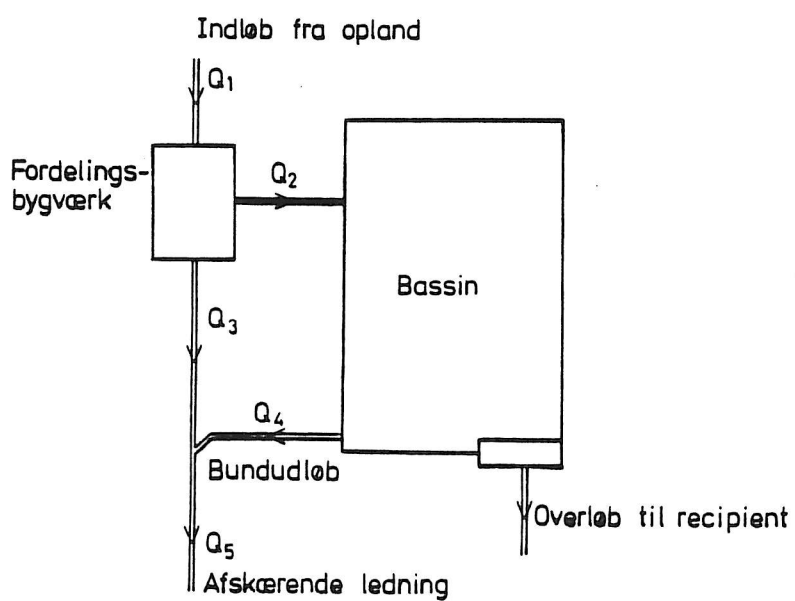


fig. 5-1 Princip for forsinkelsesbassin

Det centrale i beregningen er kontinuitetsligningen:

magasineret pr tidsenhed = indflow - udflow

$$F \frac{dh}{dt} = Q_1 - Q_u$$

F er det aktuelle overfladeareal

h er vanddybden

Q_1 er $Q_1 - Q_3$ hvor Q_3 er en fast værdi specificeret på forhånd ud fra udformningen af fordelingsbygværket. (Kun positive værdier af Q_1 benyttes).

Q_u er $Q_4 + Q_6$ hvor $Q_4 = a_1 h^{1/2}$ og
 $Q_6 = a_2 (h - h_0)^{3/2}$

Enheder for anvendte variable og konstanter fremgår af eksemplet, som angivet på bilaget.

6. INPUT OG OUTPUT TIL MODELLEN

6.1__Input

Som input til modellen må følgende parametre specificeres:

1	Oplandets reducerede areal	[m ²]
2	Initialtabet, lavning og befugtning	[mm]
3	Den maksimale tid, beregningen skal fortsætte efter regnskyllets ophør (time of empty)	[min]
4	Parametrene a, b og c i den forsimplede oplandsmodel	
5	Bundbredde af bassin	[m]
6	Bundlængde af bassin	[m]
7	Højde til overløbskant	[m]
8	Overløbskonstant	[m ^{-3/2} s ⁻¹]
9	Bundudløbskoefficient	[m ^{-1/2} s ⁻¹]

6.2__Output

Ved hver kørsel med programmet lagres hele tidsserien af overløbsvandføringen. Efter behov kan man få et mere eller mindre detaljeret output udskrevet. Følgende tre niveauer er til rådighed:

1. Udskrift af input og udskrift af antal hændelser som giver overløb. Herefter kan f.eks. det gennemsnitlige antal overløb pr. år bestemmes.
2. Udskrift af input. Udskrift af karakteristiske størrelser for hver hændelse som giver overløb, herunder for hver af disse hændelser:
 - a) Regnskyllets nr. og år.
 - b) Det totale regnvolumen på det reducerede areal.
 - c) Overløbsvolumenet.
 - d) Overløbsvarigheden.
 - e) Den maksimale overløbsvandføring.
 - f) Den maksimale overløbshøjde over overløbskanten.

Et eksempel herpå er vist på bilag nr. 1.

3. Udskrift af input. Udskrift af en statisk behandling af resultaterne som nævnt under pkt. 2, idet resultaterne plottes grafisk.

Da hele tidsserien af overløbsvandføringen for de 40 år er lagret på en fil efter en kørsel med programmet, har man derved mulighed for at benytte denne serie videre som input til andre programmer. Dette vil f.eks. være relevant, hvis man ønsker at vurdere aflastningernes videre konsekvenser i hydrologisk eller recipientmæssig henseende.

7. DISKUSSION AF METODENS BEGRÆNSNING OG VIDERE PERSPEKTIV

Forsimplede metoder, som f.eks. den der er beskrevet her, må nødvendigvis give usikre resultater, såfremt de anvendes på områder der ligger uden for de erfaringsområder, hvorunder de er opstillet og valideret. Dette er naturligvis en generel og banal bemærkning, men netop dette emne, som her behandles, kan fremvise mange eksempler på en helt overdreven generalisation og ekstrapolation af et begrænset observationsmateriale.

Den her angivne metode bygger på en analyse af enkelthændelser, som derefter underkastes en statistisk analyse. Hvad angår de forsimplede afstrømningsmodellers erfaringsområde, synes disse tilfredsstillende valideret ved måling af nedbør/afstrømningsforløb af moderat styrke inden for en gentagelsesperiode på op til 2-5 år. Kommer man ud over denne gentagelsesperiode vil systemerne opføre sig mere eller mindre anderledes, bl.a. når ledninger bliver fuldtløbende og når de permeable flader begynder at bidrage til afstrømningen. Uden målinger, som også indeholder ekstreme regnhændelser, kan man derfor forvente en betydelig usikkerhed på simuleringen af ekstreme hændelser. Hertil kommer, at de ekstreme regnskyls statistiske karakteristika er relativt dårligt fastlagt på grund af det lille antal hændelser.

Metodens videre perspektiv vil være en udvidelse med stofafstrømning, bassinernes renseeffekt samt recipientpåvirkningen. Dette har allerede været forsøgt bl.a. ved et par afgangprojekter på AUC og det må forventes, at der inden for dette område vil komme en yderligere udvikling de nærmeste år.

Stofafstrømning og recipientpåvirkning fra overløb i afløbssystemer har kun været studeret i få år her i landet, og disse erfaringer skal ikke refereres her. En ting synes dog at stå klart, nemlig at usikkerheden på parametrene ved simulering af disse processer er væsentlig større end usikkerheden på de hydrologiske parametre. Dette kunne måske bedst og kortest illustreres ved et ordret citat fra manualen til den formentlig bedst kendte afstrømningsmodel i verden, "Storm Water Management Model", (SWMM): "In fact, quality predictions by SWMM or almost any other surface runoff model are almost useless without local data being simulated to use for calibration and verification." (Huber, 1981).

8. LITTERATUR

Box, G.E.P. and Jenkins, G.M.: "Time Series Analyses - Forecasting and Control", Holden Day, San Francisco, 1976.

Chow, V.T. (editor): "Handbook of Applied Hydrology", McGraw-Hill, 1964

Grimstrup, P.: "Nedbør-afstrømningsmodeller for afløbssystemer", Afgangsprojekt ved AUC 1980, upubliseret.

Harms, R.W.: "Application of Standard Unit Hydrograph in Storm Sewer Design", Proc. Second Int. Conf. Urban Storm Drainage, Urbana, Illinois, June 1981.

Huber, C.W. et al: "Storm Water Management Model, User's Manual Version III", U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio 45268, 1981.

Johansen, L.: "Dimensionsgivende regnhændelser for afløbssystemer", Rap. 79-2, Laboratoriet for teknisk hygiejne, DTH, 1979.

Larsen, Torben: "Hydrologiske målinger i afløbssystemer", Bulletin nr. 14, Laboratoriet for hydraulik og havnebygning, Aalborg Universitetscenter, 1978.

Larsen, Torben: "Real Rainfall Time Series for Storm Sewer Design", Proc. Second Int. Conf. Urban Storm Drainage, Urbana, Illinois, June 1981.

Yen, B.C. and Chow, V.T.: "Design Hyetographs for Small Drainage Structures", A.S.C.E. Journal of the Hydraulics Division, 106 (HY6), pp 1055-1076, June 1980.

Yevjevich, V.: "Stochastic Processes in Hydrology", Water Resources Publication, Fort Collins, Colorado, 1972.

EKSEMPEL PÅ OUTPUT FRA EN KØRSEL MED MODELLEN ---

ANALYSE AF FORSINKELSES-BASSIN I AFLOEBSSYSTEM
MED HISTORISK REGN MAALT I GENTOFTE

TORBEN LARSEN AALBORG MAJ 1980

OPLANDSDATA

REDUCERET OPLANDSAREAL

200000. M2

OVERFLADETAB

100 MM/100

INFILTRATION

0 MM/100 PR H

TOERVEJRSSPILDEVAND

.0100 M3/S

DATA TIL OPLANDSMODEL

RESERVOIRKONSTANT A = 1.300

- B = -.400

- C = .100

FORDELINGSEYGVAERK

KAPACITET I AFSKAERENDE LEDNING : .050 M3/S

BASSINDATA

LAEVGDE 50.00 M

BREDDE 50.00 M

ANLAEG 1.00

HOEJDE T OV 1.500 M

OVERL.KOEF 20.00 M-3/2 S-1

BUND.KOEF .01 M-1/2 S-1

TOEMNINGSTID 180 MIN

TIDSSKRIDT 120. SEC

ANTAL OVERLOEB I 40 SOMMERHALVAAR : 24

Beregningseksempel

Bilag nr. 1

DATA FOR DE ENKELTE OVERLØBSHÆNDELSER

1	2	3	4	5	6	7
27	34	7452.	1436.	112.	.5568	.0919
81	36	5610.	1127.	80.	.8118	.1181
88	36	5326.	271.	66.	.1975	.0460
175	40	4952.	391.	68.	.3143	.0627
270	43	5576.	75.	56.	.0577	.0203
302	44	7054.	607.	82.	.3403	.0662
354	46	7308.	134.	68.	.0796	.0251
404	48	5830.	2237.	88.	1.6652	.1907
425	49	7592.	1982.	230.	.4720	.0823
476	50	4576.	41.	46.	.0371	.0151
501	51	5470.	680.	104.	.2592	.0552
610	54	5840.	96.	62.	.0612	.0211
611	54	7204.	612.	132.	.2324	.0513
629	55	4784.	637.	94.	.2533	.0543
726	58	6044.	46.	64.	.0221	.0107
741	59	8044.	1007.	578.	.0832	.0259
752	59	6010.	1276.	160.	.7440	.1114
754	59	20310.	15536.	176.	4.8170	.3871
774	60	5960.	761.	136.	.2501	.0539
886	63	6630.	1094.	80.	.7916	.1161
891	63	6326.	743.	200.	.2198	.0494
947	65	10226.	4050.	274.	1.2247	.1554
961	66	5850.	1277.	100.	.5809	.0945
987	67	5496.	780.	88.	.5553	.0917

1. regnskyl nr.
2. årstal
3. samlet regnvolumen på reduceret opland m^3
4. samlet afløbsvolumen på reduceret opland m^3
5. overløbets varighed i min.
6. maksimal vandføring i overløb m^3/s
7. maksimal vandstand over overløbskant m

Beregningseksempel

Bilag nr. 1